



Proyecto de Innovación

Convocatoria 2017/2018

186

Desarrollo de herramientas para el aprendizaje interactivo y experimental del

Electromagnetismo en el aula

Lucas Pérez García

Facultad de Ciencias Físicas

Departamento de Física de Materiales

## **1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto**

El objetivo general del proyecto es el desarrollo de un conjunto de herramientas que faciliten la enseñanza del Electromagnetismo en los distintos Grados de Ciencias de la UCM. En particular, al finalizar el proyecto habremos alcanzado los siguientes objetivos específicos:

1. Desarrollo de, al menos, cuatro experimentos que puedan llevarse al aula y que sirvan para introducir cada una de las cuatro ecuaciones de Maxwell. Utilización de estos experimentos como elemento introductorio de los distintos temas en la asignatura Electromagnetismo I en cuatro grupos del Grado en Física.
2. Planteamiento de problemas (dos por experimento) que conecten lo explicado de forma teórica con los experimentos. Estos problemas han de servir para que el alumno fije los conceptos fundamentales. En los cuatro grupos, estos problemas formarán parte de los boletines de problemas que los alumnos tienen que realizar en la asignatura. Uno o dos de ellos formarán parte del proceso de evaluación continua.
3. Diseño y preparación de cuatro experimentos que los alumnos puedan realizar en casa. Elaboración de material en el Campus Virtual que guíe el aprendizaje de los alumnos a través de los experimentos, acompañado por vídeos donde los estudiantes miembros del equipo del proyecto realicen los experimentos.
4. Diseño y preparación de una sesión de experimentos de una hora y media de duración que permita introducir los distintos fenómenos magnéticos que se dan en los materiales, conectando estos experimentos con temas de investigación actuales.
5. Evaluación de la nueva metodología de trabajo junto con los estudiantes de cuatro grupos de la asignatura Electromagnetismo I del Grado en Física.
6. Establecimiento de un mapa de asignaturas y titulaciones en las que se pueden utilizar estas herramientas. Estimados que es posible la utilización de alguna de las mismas en las asignaturas del segundo cuatrimestre siguientes: Física II (Grado en Química), Ampliación de Física (Grado en Ingeniería de Materiales) y Fundamentos de Física II y Electromagnetismo II (Grado en Física)

7. Preparación de un guía "dossier" para cada una de las asignaturas identificadas, que permita la incorporación a lo largo del curso 2018/19 de la metodología desarrollada en el proyecto en, al menos, tres asignaturas de tres grados distintos.
8. Publicación. En el acaso de considerar que la experiencia ha generado un valor añadido suficiente, el resultado del proyecto se enviará para su publicación en una revista adecuada de Didáctica.

## 2. Objetivos alcanzados

Tal y como planteábamos, en el proyecto hemos desarrollado una serie de herramientas facilitadoras del aprendizaje del Electromagnetismo. Hemos alcanzado la mayor parte de los objetivos parciales, si bien alguno de ellos ha sido reformulado a lo largo del desarrollo del proyecto.

En relación con los **objetivos 1 y 3**, hemos desarrollado numerosos experimentos:

- Hemos diseñado y fabricado experimentos de cátedra que permiten introducir, de manera sencilla, la ecuaciones de Maxwell, en la asignatura de Electromagnetismo I, así como en las asignaturas de Física del primer curso de los distintos grados en ciencias: visualización de líneas de campo eléctrico y magnético (leyes de Gauss), generación de campo magnético a partir de corriente eléctrica (ley de Ampere) y experimentos de inducción electromagnética (ley de Faraday).
- Hemos diseñado algunos experimentos más avanzados que han permitido también introducir distintos conceptos en la asignatura de Electromagnetismo II (bobina de Tesla, experimento de Hertz...)
- Hemos desarrollado una serie de experimentos sencillos, que pueden realizarse con material fácilmente accesible, para que los estudiantes puedan hacer en casa: diseño de un electroscope, corriente eléctrica, experimento de Oersted, motor de corriente continua...

En relación con el **objetivo 4**, hemos desarrollado **tres sesiones de experimentos**, y en la actualidad estamos diseñando una cuarta.

- Cuentos electromagnéticos – sobre las ecuaciones de Maxwell.
- El atractivo del magnetismo – sobre las propiedades magnéticas de la materia.
- La guerra de las corrientes – sobre la corriente eléctrica.
- Levitación magnética – en desarrollo.

En relación con el **objetivo 2**, hemos introducido algunas cuestiones y problemas basadas en los experimentos. No obstante, se ha visto que era mucho más enriquecedor la discusión de los experimentos junto con el desarrollo de los conceptos básicos en las clases teóricas. En los próximos cursos se planteará así.

En relación con el **objetivo 5**, se ha constatado un mayor seguimiento e interés de las clases teóricas por parte de los alumnos, además de un ligero aumento en la asistencia a clase por parte de estos. Para una evaluación definitiva del objetivo, esperaremos a recibir los resultados del programa Docencia y a compararlos con los de cursos anteriores.

En relación con el **objetivo 6**, parte de los experimentos desarrollados en el proyecto se han utilizado en las asignaturas de Fundamentos de Física II y Electromagnetismo II del Grado en Física y en Ampliación de Física, del Grado en Ingeniería de Materiales. También se han utilizado en dos asignaturas de la Universidad para los Mayores de la UCM, además de en numerosas charlas de divulgación en centros de Secundaria y Bachillerato.

Los **objetivos 7 y 8** se han reformulado a lo largo del desarrollo del proyecto. Aunque, en relación con el objetivo 7 y con los experimentos para realizar en casa sí que hemos preparado una pequeña guía para hacerlos, hemos creído mucho más interesante enfocar nuestros esfuerzos en escribir un pequeño libro electrónico, con licencia *Creative Commons*, que pueda servir a los estudiantes para seguir la asignatura y a los profesores para prepararla. Eventualmente, también podría servir como libro de divulgación para los lectores y lectoras que se quieran introducir en el mundo del electromagnetismo. El libro incluirá una descripción sobre cómo fabricar los experimentos, tanto los sencillos como los complejos, y una descripción del fundamento físico de los mismos. Además, incluirá un breve desarrollo de la teoría electromagnética asociada al experimento. El libro irá acompañado de un canal de vídeos en *youtube* con explicaciones detalladas para realizar los experimentos.

### 3. Metodología empleada en el proyecto

Para alcanzar los objetivos del proyecto, hemos trabajado divididos en **equipos** flexibles coordinados por el coordinador del proyecto.

La **elección** de los distintos experimentos se ha llevado a cabo en reuniones entre los distintos profesores participantes. Como establecía la memoria, la **fabricación** de los experimentos la llevaron a cabo Carlos Romero y Sandra Ruiz Gómez, con el **apoyo** del resto del equipo. Para ello, una vez elegido qué experimento se iba a desarrollar para ilustrar un determinado concepto físico, se realizó un primer diseño y un prototipo, que se **probó** con la colaboración de los estudiantes, Alba Rivera y Alejandro Fernández.

Tras comprobar que cada experimento cumplía los requisitos buscados, se llevó al aula, a la asignatura de Electromagnetismo I, a lo largo del primer cuatrimestre por los profesores participantes en el proyecto, y se realizó a modo de **experiencia de cátedra**, en colaboración con las y los estudiantes, de la asignatura, para posteriormente, y centrados en los resultados del experimento, introducir algún elemento fundamental de la teoría electromagnética. Tal y como estaba previsto en la memoria, aquellos experimentos que introducen conceptos más sencillos también fueron utilizados en asignaturas básicas de otros Grados de ciencias, impartidas en el segundo cuatrimestre.

Para desarrollar las **sesiones de experimentos**, se estableció un guion, a modo de monólogo científico que se utilizó como hilo conductor para el diseño de los distintos experimentos que forman la sesión. Estos experimentos se diseñaron para poder llegar a una audiencia más amplia y para poder realizarse en un auditorio grande. La sesión de *Cuentos Electromagnéticos* se utilizó como resumen de las Ecuaciones de Maxwell y la de *El Atractivo del Magnetismo* como introducción al Magnetismo en Medios Materiales, en Electromagnetismo I. Además de realizar los experimentos en el aula, las sesiones de experimentos se han utilizado fuera del ámbito puramente académico, para acercar el electromagnetismo a otros públicos en la Semana de la Ciencia en la UCM, en el mes de la Ciencia de Ibercaja (en Guadalajara y Teruel) así como en distintos centros de primaria, secundaria y bachillerato de la Comunidad de Madrid y Guadalajara.

En la actualidad estamos redactando un libro que recogerá todos los resultados del proyecto, de forma que puedan ser utilizados por estudiantes y profesorado. La redacción está siendo supervisada por el coordinador del proyecto.

#### 4. Recursos humanos

En el proyecto han participado cinco Profesores Titulares (Miguel Ángel González, Arantzazu Mascaraque, Alberto Rivera, María Varela y Lucas Pérez como coordinador), una estudiante de doctorado (Sandra Ruiz) y un técnico de laboratorio (Carlos Romero) del Departamento de Física de Materiales, además de dos estudiantes del Grado en Física (Alba Rivera y Alejandro Fernández).

Para facilitar la tarea de coordinación, una vez elegidos entre todos los profesores los experimentos a desarrollar se establecieron **responsables** para el **diseño** de estos.

- Experimentos para hacer en casa: Miguel Ángel González Barrio
- Experiencias de cátedra: Carlos Romero Izquierdo
- Sesiones de Experimentos: Lucas Pérez García

Como establecía la memoria, la **fabricación** de los experimentos la llevaron a cabo Carlos Romero y Sandra Ruiz Gómez, con el apoyo del resto del equipo. Los experimentos fueron probados por ellos, con la colaboración de Alba Rivera y Alejandro Fernández.

La **implementación** en el aula, durante el primer cuatrimestre, ha corrido a cargo de los profesores de Electromagnetismo I (Miguel Ángel González, María Varela, Alberto Rivera y Lucas Pérez). Arantzazu Mascaraque participó también en la implementación de los experimentos para los alumnos de la Universidad para los Mayores de la UCM. En el segundo cuatrimestre, estos mismos profesores se han encargado de trasladar estos experimentos a otras asignaturas del Grado en Física como Fundamentos de Física II (M. Varela y L. Pérez) y asignatura de otros Grados: Ingeniería Química (A. Mascaraque), Ingeniería de Materiales (M. A. González Barrio) e Informática (A. Rivera). También se han desarrollado experimentos que se han utilizado en la asignatura de Electromagnetismo II del Grado en Física (A. Rivera).

En el caso de las **sesiones científicas**, una vez diseñados y montados los experimentos e historia necesarios para llevarlas a cabo, fueron puestas en marcha y presentadas por Carlos Romero – *La Guerra de las Corrientes* – y por Sandra Ruiz y Lucas Pérez – *Cuentos Electromagnéticos* y *El Atractivo del Magnetismo*.

En la actualidad, los miembros del proyecto están participando en la redacción de un libro, coordinados por Lucas Pérez.

## 5. Desarrollo de las actividades

Describimos a continuación los distintos experimentos y experiencias desarrollados a lo largo del proyecto, ampliando la información ya aportada en los apartados anteriores.

En relación con las **experimentos de aula**, como se ha comentado se trataba en su mayor parte de experimentos que ilustraran los conceptos básicos del electromagnetismo y que utilizaran materiales fácilmente accesibles para que los estudiantes pudieran reproducirlos en casa. Los enumeramos a continuación atendiendo a los conceptos que ilustran:

- La base del electromagnetismo es el concepto de **carga eléctrica**. Para ilustrar la presencia de esta utilizamos un *electroscopio*, que puede fabricarse con un frasco de vidrio y papel de aluminio.
- Una de las principales **diferencias** entre la **electrostática** y la **magnetostática** es la existencia de carga eléctrica pero no de carga magnética, que ilustramos comparando el comportamiento de *globos* cargados por fricción con el de *imanes*. La diferencia también se observa claramente en la **Ley de Gauss**, que puede observarse a través de la **visualización** de las **líneas de campo** eléctrico y de campo magnético.
- Las **fuentes de la magnetostática** son las corrientes eléctricas, que se pueden generar con una batería y cuantificar con un voltímetro, encontrando así de manera sencilla la **Ley de Ohm**.
- Una corriente eléctrica genera un campo magnético que puede medirse por el efecto que causa en una brújula cercana (experimento de Oersted). También puede observarse fabricando un pequeño electroimán con un tornillo y cable. Ambos experimentos sirven para ilustrar la **Ley de Ampere**.
- La última ley básica del electromagnetismo, necesaria para completar las ecuaciones de Maxwell, es la **Ley de Faraday**, que ilustramos a través del experimento desarrollado por el propio Faraday y también observando el efecto de amortiguamiento en la caída de un imán al caer por el interior de un tubo metálico.
- Por último, como complemento de todo lo anterior, fabricamos un **motor de corriente continua**.

## Sesiones de experimentos

Las sesiones de experimentos, tanto en clase como en otros foros (semanas de la Ciencia, colegios e institutos...) se han desarrollado como charlas de 45-50 minutos con participación muy activa de los asistentes.

*Cuentos electromagnéticos.* Es una sesión en la que se repasa toda la historia del electromagnetismo, desde la antigua Grecia hasta los experimentos de Faraday de finales del siglo XIX que completaron la teoría electromagnética clásica. Para la sesión hemos diseñado y fabricado los distintos experimentos que dieron lugar al desarrollo de la teoría electromagnética en un formato grande, que permite su exposición en un aula, un salón de actos o, incluso, en la calle. Para introducir la sesión hemos escrito un cuento, adaptado a las distintas edades, que permite motivar la sesión, introducir cómo funciona el método científico y, al final de la sesión, mostrar la importancia del desarrollo del electromagnetismo en el desarrollo tecnológico.

*La Guerra de las Corrientes.* Esta sesión de experimentos está centrada en la rivalidad entre Nikola Tesla – defensor de la corriente alterna – y Thomas Edison – defensor de la corriente continua – en la década de 1880 en relación con la distribución de corriente eléctrica en Estados Unidos. Aprovechamos la historia, de la que hay abundante documentación histórica, para introducir los conceptos fundamentales de la corriente eléctrica, así como las diferencias entre la corriente continua y la alterna. La presentación lleva de manera natural a los asistentes a entender por qué *ganó* la corriente alterna en los procesos de distribución.

*El Atractivo del Magnetismo.* Una de las principales carencias de la asignatura de Electromagnetismo I es la imposibilidad de hablar en detalle de Magnetismo en la Materia en medios no lineales, por falta de tiempo. Pero, a diferencia de otros campos de la Física donde los efectos lineales dominan las aplicaciones (al menos las básicas), el magnetismo lineal apenas tiene aplicaciones y hay que recurrir a los materiales ferromagnéticos (imanes) para encontrar aplicaciones. Para poder introducir este tema sin dedicar mucho tiempo – ya que no se dispone del mismo – hemos preparado una sesión de 90 minutos de duración donde se presentan las diferentes aplicaciones (almacenamiento de energía, almacenamiento de información, transformadores, sensores...) con apoyo audiovisual y experimentos que permite realizar una introducción al tema.



Comentar por último que, en la actualidad, estamos desarrollando una sesión sobre *Levitación Magnética*, que comparará la levitación electromagnética (Ley de Lenz) con la levitación con superconductores (Efecto Meissner).

### **Publicación**

En los objetivos del proyecto se mencionaba que, si la experiencia generara un valor añadido suficiente, el resultado del proyecto se enviaría para su publicación en una revista adecuada de Didáctica. Tras analizar los resultados, creemos que sería muy interesante escribir un libro, a medio camino entre el libro de texto y la divulgación científica, que pueda ser utilizado de apoyo por profesores y por estudiantes y que esté apoyado por vídeos de todas las experiencias, a través de un canal de Youtube. En la actualidad estamos trabajando en ello.